

## Pier Paolo GRANIERI

**Titolo:** Ricercatore all'estero

**Ente:** European Organization for Nuclear Research

**Data inizio:** 01/05/2011

---

# MAGNETI SUPERCONDUTTIVI E CRIOGENIA

---

## Attività didattica: contenuti

### OBIETTIVI FORMATIVI

Il Corso si propone di illustrare compiutamente i concetti relativi alla fisica e tecnologia dei magneti superconduttivi, unitamente ai principi dell'ingegneria criogenica.

Si introducono le conoscenze relative alle proprietà fondamentali dei materiali superconduttori. Si illustrano le principali applicazioni della superconduttività, con particolare riferimento all'ingegneria dei magneti per campi intensi. Si descrivono in dettaglio i magneti per acceleratori di particelle, con particolare riferimento al Large Hadron Collider (LHC) del CERN. Si descrivono magneti per altre applicazioni di ricerca, industriali e mediche.

Si descrivono le proprietà dei fluidi e materiali criogenici inclusa la superfluidità dell'elio, i sistemi di refrigerazione e liquefazione e le tecniche di strumentazione e misura. Si affrontano i temi di scambio termico e fluidodinamica a basse temperature. Vengono forniti elementi di dimensionamento di criostati.

Lo scopo delle lezioni è professionalizzante oltre che accademico. Il corso mira a preparare delle figure in grado d'integrarsi rapidamente in un istituto di ricerca o nel settore privato ed essere rapidamente operative.

### PROGRAMMA DEL CORSO

#### Magnetismo superconduttivo

Materiali superconduttori del I e II tipo. Cenni alla storia e alle teorie sulla superconduttività. Superficie critica. Materiali ad alta e bassa temperatura critica. Materiali superconduttori di ultima generazione. Perdite in corrente alternata.

Sistemi per la generazione di campi magnetici: magneti permanenti, elettromagnetici resistivi, elettromagnetici superconduttori.

Conduttori per elettromagnetici: Fili e nastri superconduttori a bassa ed alta temperatura critica (Coated conductors, Wire in Channel, ...). Cavi piatti di tipo Rutherford, Cable in Conduit Conductors (CICC), conduttori di tipo Roebel.

Magnetismo per acceleratori di particelle: progetto LHC del CERN. Specifiche di magneti in acceleratori circolari. Dipoli, quadrupoli e magneti correttori. Magnetismo per rilevatori di particelle. Design elettromagnetico. Forze di Lorentz e stress. Metodi di fabbricazione e strutture di supporto. Training. Protezione.

Stabilità termica: Meccanismi di innesco della transizione da stato superconduttivo a normale (quench). Minimum Quench Energy (MQE). Quench detection e sistemi di protezione.

Magneti superconduttori per la Fusione Termonucleare Controllata: progetto ITER. Sistema magnetico per un tokamak. Sistemi tipo Stellarator.

Risonanza magnetica: principio di funzionamento. Uniformità e intensità del campo e rapporto segnale rumore. Schermatura.

Levitazione magnetica nel trasporto ferroviario. Dispositivi di accumulo dell'energia (SMES) per applicazioni nel settore delle fonti rinnovabili.

Cenni ai magneti per campi intensi (superiori ai 30 T).

## Criogenia

Proprietà dei fluidi e materiali criogenici: proprietà termiche dei solidi, proprietà di trasporto dei materiali, proprietà meccaniche dei materiali, proprietà dei fluidi criogenici, proprietà dell'elio inclusa la superfluidità. Sistemi di refrigerazione e liquefazione: refrigeratori/liquefattori a grande scala, cicli di refrigerazione, hardware di refrigerazione, cryocoolers.

Scambio termico e fluidodinamica criogenica: meccanica dei fluidi criogenica, meccanismi di scambio termico, scambio termico d'ebollizione, flusso bifasico e circolazione naturale, elio superfluido (He II).

Tecniche di strumentazione e misura: misure di temperatura, misure di pressione, misure di flusso, misure di livello.

Elementi di dimensionamento di criostati: sistemi di isolamento termico, design di supporti strutturali a basse perdite termiche, strumentazione e discendenti di corrente, considerazioni di massa termica, immagazzinamento e trasferimento di fluidi criogenici.

## Attività didattica: metodi

I metodi didattici dettagliati qui di seguito avranno l'obiettivo di:

1. Facilitare l'apprendimento del programma didattico
2. Iniziare lo studente alle pratiche usuali nel campo della ricerca
3. Favorire lo sviluppo dell'autonomia e dello spirito critico degli studenti

### Punto 1

Il programma didattico sarà divulgato tramite lezioni frontali, esempi, applicazioni ed esercizi svolti a lezione. Si svolgeranno esercitazioni al computer, come simulazione di quench e realizzazione di progetti di sistemi magnetici con codici commerciali quali THEA e Comsol Multiphysics. Verrà inoltre organizzato almeno un seminario con docenti esterni alla Facoltà. Se possibile, sarà infine effettuata una visita presso uno dei centri di ricerca o una delle aziende italiane del settore.

Gli strumenti di supporto della didattica saranno

- Appunti di lezione (meglio se presi personalmente)
- Copia delle slides utilizzate dal docente durante le lezioni
- Bibliografia comunicata dal docente

Supervisione: un sistema di ricevimento online pari a 2h a settimana sarà messo a disposizione via skype o altro sistema equivalente.

### Punto 2

Per iniziare lo studente alle pratiche usuali nel campo della ricerca saranno tenuti un seminario sulla redazione di un articolo scientifico e la preparazione di un talk/poster da presentare in conferenza. Tali nozioni saranno messe in pratica per la preparazione della prova di valutazione.

### Punto 3

Per favorire lo sviluppo dell'autonomia e dello spirito critico degli studenti la prova di valutazione implicherà

la redazione di un articolo su un tema a scelta. Gli studenti saranno chiamati a fare domande alla fine di ogni presentazione, ricreando così l'atmosfera di una conferenza/workshop.

### **Periodo di svolgimento:**

Da: 01/03/2013      a: 30/07/2013

### **Attività didattica:**

Numero ore di lezione: 20

Numero ore di laboratorio/esercitazione: 10

### **Attività pratiche:**

1. Simulazione di quench e realizzazione di progetti di sistemi magnetici con codici commerciali agli elementi finiti (THEA e Comsol Multiphysics)
2. Modellizzazione fisica di scambi termici in bobine superconduttive, con l'utilizzo di tools quali Matlab
3. Design di sistemi criogenici
4. Esercizi di applicazione degli argomenti proposti a lezione
5. Preparazione di un paper e di un talk/poster (si veda la sezione "Attività di valutazione")

### **Attività di valutazione:**

L'esame consta di due prove: una scritta e una orale aventi per obiettivo non solo quello di valutare lo studente, ma metterlo nella situazione in cui si trova ogni ricercatore nel momento in cui si deve preparare per una conferenza.

**PROVA SCRITTA:** redazione di un articolo su un argomento a scelta tra quelli trattati durante il corso. Uno stesso argomento può essere scelto da più allievi e sviluppato singolarmente da ciascuno.

**PROVA ORALE:** presentazione del proprio lavoro in 20 minuti e 15 minuti di domande. Da notare che le domande saranno poste dal professore e dagli studenti presenti.

Non sono fissati appelli d'esame, ma verrà fissata la data della "conferenza" che concluderà il corso. Alla conferenza dovranno partecipare tutti gli studenti e presentare il proprio lavoro secondo il programma fornito dal docente

Il voto finale sarà ponderato nel modo seguente: 40% prova scritta, 40% presentazione orale, 20% capacità di risposta alle domande.

### **Modalità e criteri di selezione:**

Saranno selezionati fino a un massimo di 4 studenti in base ai criteri seguenti:

Disponibilità a restare in loco per un periodo di 6 mesi

Risultato della prova d'esame

Curriculum Vitae

Curriculum accademico

Capacità ad esprimersi e redigere in modo comprensibile in inglese

Conoscenze di base della lingua francese (un plus)

A parità di condizioni saranno preferiti gli studenti che hanno terminato gli esami e desiderano utilizzare l'esperienza presso il CERN come base per la tesi di laurea.

### Attività all'estero:

Gli studenti integreranno il gruppo di Criogenia o il gruppo di Magneti e Superconduttori presso il CERN di Ginevra, Svizzera. Saranno coinvolti in attività sperimentali e di analisi teorica/modellistica. Gli argomenti delle attività all'estero saranno lo scambio termico all'interno dei magneti superconduttori, e le problematiche di transizione dei magneti dallo stato superconduttivo allo stato resistivo. Avranno a disposizione un ufficio ed il materiale sperimentale e/o numerico necessario per la realizzazione del suddetto lavoro. Saranno seguiti dal sottoscritto nel loro lavoro di ricerca, e saranno inseriti nelle attività dei rispettivi gruppi di lavoro, condividendo l'esperienza di stage con altri ricercatori. Parteciperanno a seminari formativi, e riporteranno essi stessi i risultati dei loro studi in appositi seminari.

### Periodo attività all'estero

Da: 01/08/2013 a: 30/04/2014

Durata della permanenza all'estero: 6 mesi

### Diffusione dell'esperienza:

La diffusione dell'esperienza degli studenti deve avere più scopi:

- Presentare l'attività di ricerca svolta dallo studente
- Presentare l'ambiente di lavoro e le condizioni di lavoro
- I pro e contro della ricerca anche a livello estero
- L'integrazione della ricerca con il sistema industriale svizzero/internazionale

Si potrebbe inoltre organizzare una tavola rotonda a seguito delle presentazioni per discutere delle tematiche della ricerca, del valore aggiunto delle esperienze all'estero degli studenti per il tessuto industriale locale. Alla tavola rotonda saranno invitati rappresentanti dell'università, del settore privato e eventualmente del CERN. L'evento sarà seguito da un aperitivo mangiato per i rappresentanti dell'università, degli industriali e del CERN e gli studenti che hanno presentato il loro progetto. In questo modo si darà l'opportunità agli studenti di iniziare a costruire un network professionale, e si trasformerà tale attività in un vero evento per l'università.

### Piano dei costi:

spese di didattica/laboratorio/esercitazione: **€ 6.000**

spese di viaggio, vitto e alloggio per studiosi ed esperti incaricati: **€ 3.200**

spese di viaggio, vitto e alloggio per ciascun periodo di studio all'estero: **€ 5.000**

spese di disseminazione e divulgazione: **€ 5.300**

### Registrazione di materiale video:

**Acconsento** alla registrazione di materiale video.

Note: -

## **Preferenze sede di svolgimento dell'attività:**

### **Prima preferenza:**

Ateneo: Politecnico di BARI

Dipartimento: MECCANICA ED ENERGETICA

---

### **Seconda preferenza:**

Ateneo: Università degli Studi di PALERMO

Dipartimento: INGEGNERIA INDUSTRIALE E MECCANICA

---

### **Terza preferenza:**

Ateneo: Università della CALABRIA

Dipartimento: Ingegneria Meccanica, Energetica e Gestionale- DIMEG